



PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DEL MAR MENOR

Centro Oceanográfico de Murcia. Instituto Español de
Oceanografía (IEO-CSIC)



Informe de Progreso. Abril 2022

NOTA: Los datos empleados para elaborar este informe de progreso son provisionales y están sujetos a una posterior validación. Queda absolutamente prohibida la publicación de los datos contenidos en este informe sin el consentimiento previo de los autores y de IEO-CSIC.

Proceso de eutrofización del ecosistema lagunar

Cualquier análisis global y parcial del estado de la laguna debe estar contextualizado en el **proceso de eutrofización** que la laguna costera viene experimentando a lo largo de las últimas décadas como consecuencia de los aportes masivos y casi continuos de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) procedentes de la actividad humana, y que entran en la laguna a través de las siguientes vías principales, dependiendo de una serie de factores climáticos y antrópicos:

- a) Escorrentía superficial a través de ramblas (principalmente aguas de rechazo de desalobradoras)
- b) Aguas subterráneas (acuífero)
- c) Entradas del nivel freático en superficie
- d) Arrastre de agua y materiales de la cuenca vertiente durante lluvias torrenciales
- e) Colectores de pluviales conectados al sistema de alcantarillado
- f) Intercambio con la atmósfera (contaminación difusa, calimas).

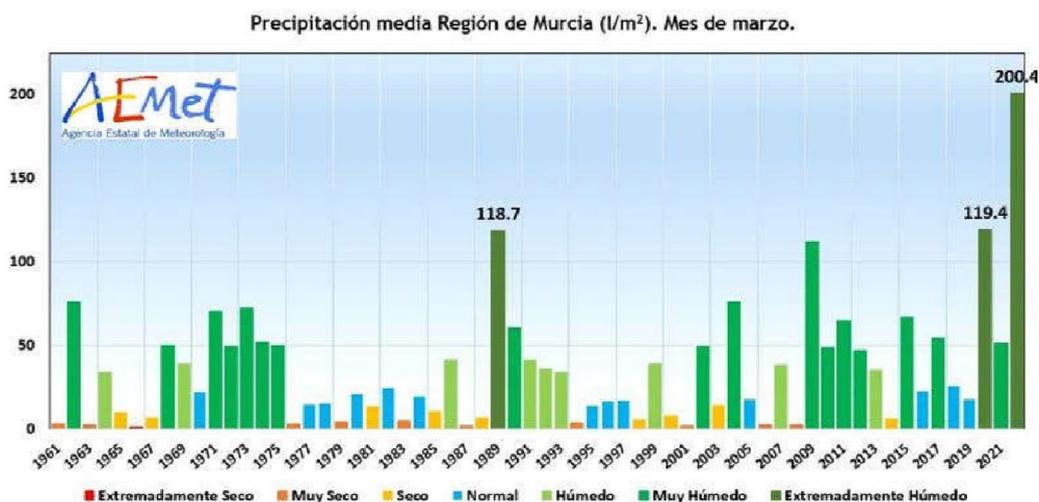
De acuerdo con el conocimiento existente, los procesos de eutrofización en los ecosistemas acuáticos se caracterizan por los siguientes síntomas:

- 1.- Proliferación de algas oportunistas de crecimiento rápido (tanto macroscópicas como microscópicas), incluyendo especies de fitoplancton tóxico.
- 2.- Reducción de la luz que llega al fondo disponible para la fotosíntesis de los macrófitos y microorganismos bentónicos.
- 3.- Exceso de materia orgánica en la columna de agua y los sedimentos susceptible de ser descompuesta por la comunidad microbiana.
- 4.- Incremento de la respiración del sistema y reducción de las concentraciones de oxígeno disuelto hasta llegar a niveles próximos a la hipoxia, e incluso anoxia en fases muy severas.
- 5.- Intensificación del metabolismo anaerobio con la consiguiente producción de compuestos disueltos reducidos del carbono (Metano), nitrógeno (Amonio) y azufre (Sulfhídrico), con un elevado potencial tóxico sobre los organismos marinos.
- 6.- Migración a gran escala de organismos marinos, tanto vertebrados (peces) como invertebrados (crustáceos, moluscos, etc.) llevando en fases avanzadas a episodios de mortalidad masiva a consecuencia del déficit de oxígeno, las elevadas concentraciones de compuestos tóxicos y/o la proliferación de microorganismos tóxicos y disruptores del ecosistema.

Interacciones con eventos climáticos extremos.

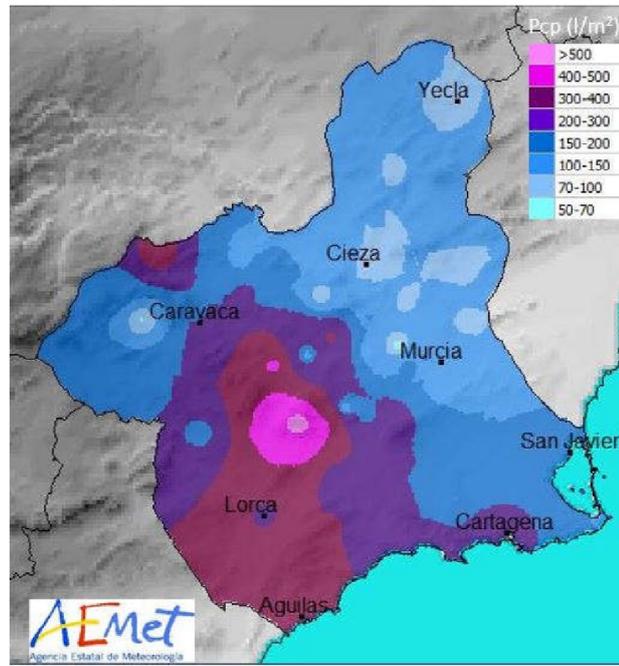
Como se ha documentado en informes anteriores, la severidad, frecuencia y duración de estos síntomas y efectos, no solo depende de los aportes antropogénicos a la laguna, sino de las interacciones con otros factores, pero en particular con los efectos de eventos climáticos extremos como las lluvias torrenciales (DANAs). Las lluvias torrenciales arrastran grandes cantidades de sedimentos altamente enriquecidos no sólo en nitrógeno, sino también en fósforo, por lo que se les atribuye un alto potencial de activar eventos de crecimiento fitoplanctónico explosivo que pueden ir sucedidos de fenómenos de agotamiento de oxígeno y, por tanto, eventos de mortalidad masiva de organismos marinos. Por ello, tras un episodio de este tipo, que es propio de estas zonas de clima semiárido del SE peninsular, los programas de seguimiento deben intensificar sus esfuerzos para valorar adecuadamente sus efectos en el estado y evolución del ecosistema lagunar.

En el mes de marzo de 2022 ha tenido lugar un episodio de anomalías climáticas particularmente intenso que podría tener efectos significativos en el ecosistema lagunar en los meses estivales del presente año. La particularidad de este episodio no solo ha radicado en la intensidad y duración de las precipitaciones, sino también en que han ido acompañados de fenómenos de calima (o “polvo sahariano”) que aportan grandes cantidades de materiales particulados (inorgánicos) y nutrientes, incluyendo nitrógeno y fósforo. Concretamente tuvieron lugar dos episodios de calima, uno los días 14-16 de marzo y otro entre el 27 y 29 del mismo mes. Las lluvias han sido casi persistentes en Murcia desde el 3 de marzo. Los días 11 a 13 tuvo lugar un fuerte episodio coincidiendo con el paso de la borrasca “Celia”. Tras Celia, a partir del día 16, otra serie de borrascas penetraron en la península por el suroeste, en ocasiones en forma de dana, aportando intensas precipitaciones hasta el día 31.



Según AEMET (AEMET Avance climatológico mensual) esto se ha traducido en el mes de marzo más húmedo de los últimos 62 años, con un total de 200,4 litros por metro cuadrado, superando las efemérides anteriores de 2020 (119,4 l/m²) y 2016 (188,3 l/m²). La precipitación registrada este mes de marzo representa el 63% de la total esperada para todo el año en Murcia.

Aunque las zonas con mayor precipitación acumulada fueron las del oeste de la región (500-600 l/m²), en la zona del Mar Menor y Cartagena se registraron también valores históricos que se reflejaron en riadas muy potentes. Como consecuencia el nivel freático ha aumentado y se están produciendo descargas superficiales del acuífero en diferentes puntos de la laguna.



Objetivo del presente informe

De acuerdo con lo anterior, y como parte del programa de seguimiento del Mar Menor que realiza el Centro Oceanográfico de Murcia desde 2016 (proyecto DMMEM), el objetivo del presente informe es aportar información actualizada sobre la evolución de una serie de variables básicas de la columna de agua (salinidad, oxígeno, clorofila a, turbidez y potencial redox) para **valorar los posibles efectos de los excepcionales eventos de lluvias torrenciales ocurridos durante el mes de marzo de 2022 sobre el ecosistema lagunar y su evolución**. Los detalles metodológicos de este programa de seguimiento pueden ser consultados en informes anteriores (p.e. Ruiz et al 2020).

Salinidad, temperatura y estratificación

La salinidad es una variable oceanográfica de gran importancia en el Mar Menor. Registros históricos, posteriores a la apertura del canal del Estacio, indican que su valor medio varía generalmente entre 42 en invierno y 47 en verano, pudiendo alcanzar valores más bajos e incluso más altos respecto a este rango dependiendo de la variabilidad anual de los factores climáticos (precipitaciones, temperatura atmosférica, régimen de vientos) y oceanográficos (tasa de intercambio con el Mediterráneo, componente mareal y presión atmosférica, etc.) (Fraile Nuez et al 2018; ver informes anteriores, por ejemplo, Ruiz et al 2020, 2021).

Inmediatamente después del primer evento de “sopa verde” en 2016, las riadas del invierno 2016-2017 aportaron grandes cantidades de agua dulce cargada de nutrientes y sedimentos, que causaron una caída brusca de la salinidad por debajo del promedio de los valores mínimos del rango anual (Figura 14). Esta bajada de la salinidad fue más acusada en la capa superficial que en la profunda aunque la diferencia fue de tan solo 1.7. A partir de este momento, la salinidad muestra una tendencia ascendente muy clara en los dos siguientes años de forma que ya alcanza valores anuales normales en 2017 e incluso más elevados en 2018, muy similares a los que presentaba en 2016 antes de la riada. Estos valores normales se mantienen estables hasta las riadas de las DANAs de 2019-2020, cuyos aportes de agua masivos redujeron la salinidad de las capas superficiales del Mar menor hasta valores extremadamente bajos (33-34), favoreciendo una fuerte estratificación que se mantuvo durante varias semanas. Desde entonces, como ya ocurrió tras la riada de 2017, la salinidad ha mostrado una tendencia ascendente hasta el 3 de septiembre de 2021, con valores medios de 43,3 tanto en superficie como en fondo. Esta salinidad era similar a la de otras zonas de la laguna diferentes de los puntos de muestreo de este programa de seguimiento, como las zonas someras de La Manga, al sur del canal del Estacio (Pueblo Nuevo), donde se ubica una población de *Pinna nobilis* de gran interés de conservación. A partir de este momento la salinidad inicia de nuevo el descenso propio del ciclo estacional de esta variable en la laguna, resultado del balance entre la tasa de evaporación y la tasa de intercambio con el Mediterráneo (Fraile et al 2018).

En caso de continuar esta dinámica sin nuevos aportes de agua era previsible que la salinidad de la laguna continuará con esa tendencia general de ascenso hasta alcanzar valores más propios de su rango anual en verano de 2022. **Sin embargo, esta tendencia se ha visto truncada a consecuencia de las intensas precipitaciones del mes de marzo de 2022, que han provocado una brusca caída hasta valores medios en torno a 39 a consecuencia de los aportes masivos de agua dulce (Figura 1). Las aguas superficiales son, en promedio, solo unas décimas superiores en las capas profundas más pegadas al fondo (40-39,4) respecto a las más superficiales (39,8-39,1). Tras las lluvias, y a consecuencia de la elevación del nivel freático, continúan los aportes de agua dulce a la laguna con altos contenidos en nutrientes (principalmente nitratos), lo que interferirá la dinámica estacional de la salinidad, que en la época estival tiene tendencia de aumento.**

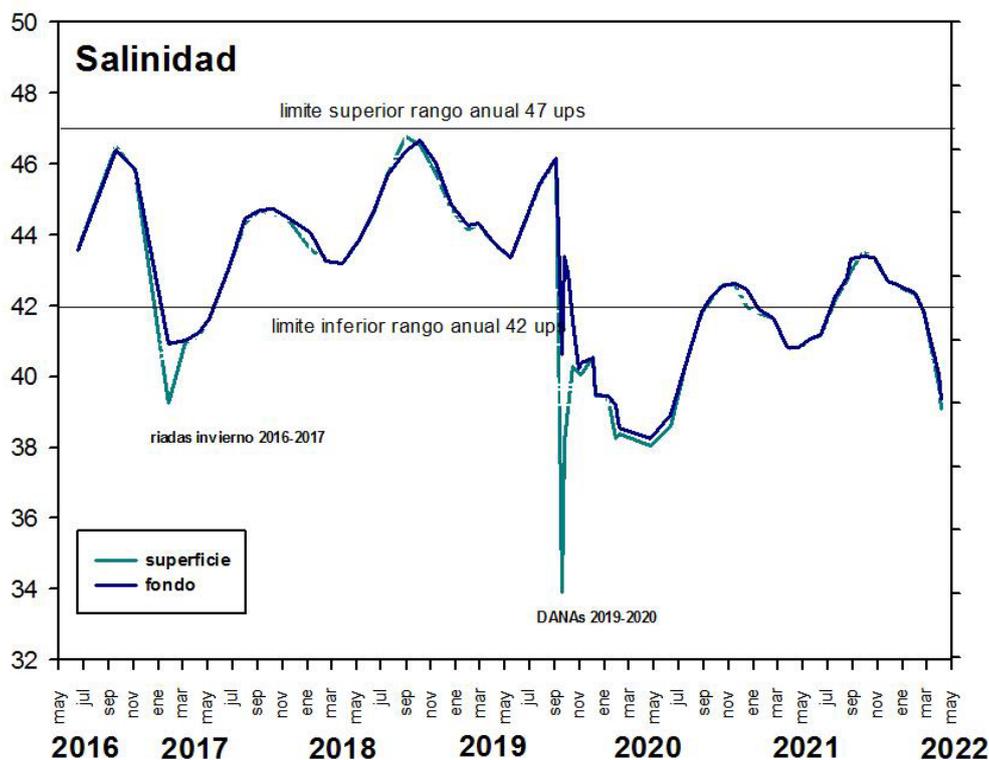


Figura 1. Variación de la salinidad media desde mayo de 2016 en las capas superficiales (línea azul ciano) y profundas (línea azul marino) del Mar Menor. **Fuente:** datos propios del programa DMMEM IEO-CSIC.

Respecto a la temperatura del agua, a principios de abril es, en promedio, de 13,3 °C en aguas superficiales, y unas décimas superior (38,7°C) en las capas más profundas pegadas al fondo. Estas temperaturas medias son algo inferiores a las registradas en fechas similares en años anteriores, cuya variabilidad interanual es entre 15,2°C y 18.3°C (sin diferencias entre capas superficiales y profundas), e inferiores también a las temperaturas medias registradas a finales de marzo (1 semana antes). Por tanto, **el episodio de inestabilidad climática que ha tenido lugar en marzo de 2022 parece haber causado un enfriamiento anómalo del agua del Mar Menor respecto a las habituales en esta época del año.**

A pesar de estos episodios de lluvias intensas y prolongadas, ni la salinidad, ni la temperatura, mostraron diferencias importantes entre las capas más superficiales de la columna de agua y las más profundas y pegadas al fondo, lo que descarta la existencia de estructuras de estratificación hidrográfica como las descritas en algún episodio anterior de lluvias torrenciales (ver informe anterior Ruiz et al 2020). Este tipo de estructuras pueden formarse a consecuencia de aportes masivos de agua dulce, que forman una capa de agua menos salina y más fría, y por tanto menos densa, que si persiste puede favorecer episodios de anoxia en las capas profundas, como ocurrió tras las DANAs de 2019 (Figuras 1 y 2). Pero no todos los episodios de lluvias causan este efecto de estratificación, como ha sido en el caso de marzo de

acumulaciones de compuestos reducidos de carbono, nitrógeno o azufre, producto de los procesos descomposición anaerobia de la materia orgánica (ver informes anteriores, por ejemplo, Ruiz et al 2020, 2021).

Turbidez

La turbidez de la columna de agua (deducida a partir del coeficiente de extinción de la luz; **Figura 3**) experimenta un notable aumento a partir de febrero de 2022. Los valores medios máximos de turbidez (0,58-0,94 m^{-1}) fueron registrados en la cubeta central y sur, y fueron suficientemente elevados como para causar una severa reducción de la luz hacia niveles que considerados como críticos para el crecimiento de los macrófitos que colonizan el fondo de la albufera a profundidades superiores a 3m (< 5% de la irradiancia superficial), dominado en la actualidad por el alga *Caulerpa prolifera*. Estos niveles de reducción de la luz son comparables a los registrados en el episodio de verano de 2021 (**Figura 3**), que causaron la regresión del clorófito en la cubeta sur de la laguna (ver informes anteriores, por ejemplo, Ruiz et al 2020, 2021).

Este nuevo episodio de aguas turbias responde fundamentalmente a los aportes de materiales arrastrados por la escorrentía superficial durante los episodios de lluvias torrenciales registrados a lo largo de estos últimos meses, pero podría mantenerse en las próximas semanas (e incluso meses) por el desarrollo masivo de las comunidades microbiológicas y fitoplanctónicas (ver siguiente apartado).

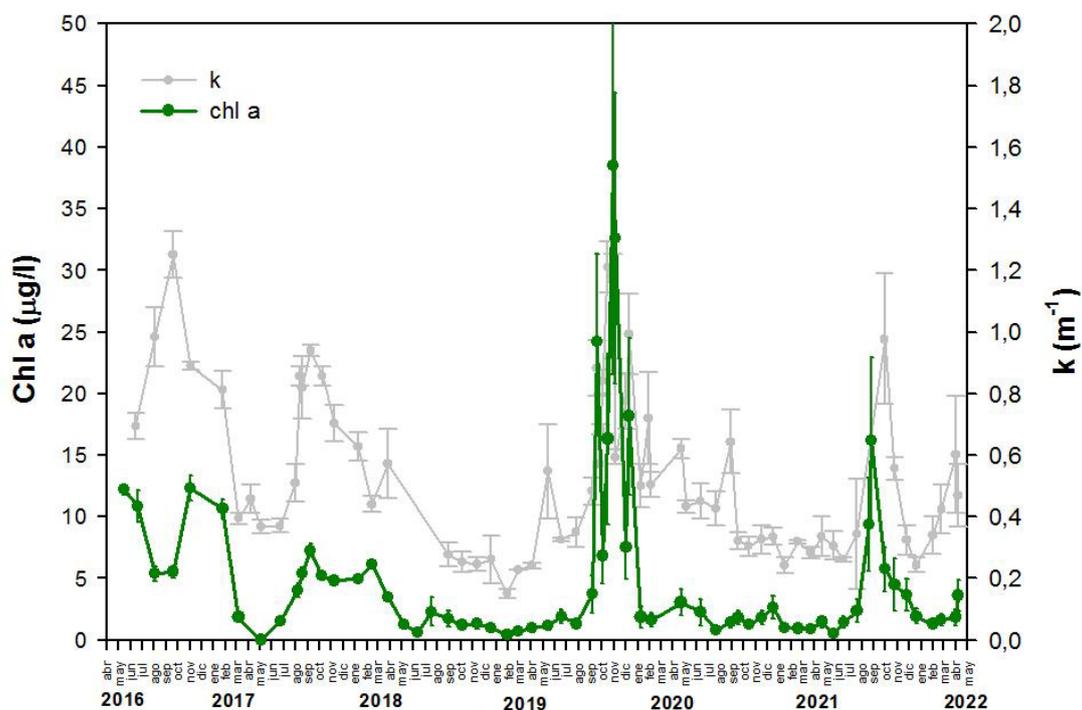


Figura 3. Evolución de la clorofila (chl a) y de la turbidez (como coeficiente de extinción de la luz, k , m^{-1}) en la columna de agua del Mar Menor desde 2016. La línea discontinua verde es el promedio de la chl a en las décadas anteriores a

2015; igualmente, la línea discontinua azul es promedio de la turbidez de la columna de agua en las décadas previas.
Fuente: datos propios del programa DMMEM desarrollado y financiado por el IEO-CSIC.

Clorofila a

En la figura 1 se muestra la evolución de la clorofila *a* (chl *a*) en el Mar Menor desde 2016. Esta variable es un indicador de cómo evoluciona la abundancia del fitoplancton en la columna de agua. En la Figura 2 se muestra la evolución a escala decenal de la clorofila desde principios de la década de los 80 del siglo pasado.

Durante la crisis distrófica del Mar Menor que tiene su inicio en 2015 (Mercado et al. 2021) se han producido 4 grandes episodios de proliferación fitoplanctónica, bien diferenciados en la gráfica de la **Figura 3**, separados entre sí por períodos de duración variable de aguas más transparentes, y que son los siguientes:

- 1.- Episodio “sopa verde” en 2016
- 2.- Segundo episodio de “sopa verde” entre 2017 y 2018
- 3.- Tercer episodio asociado a las DANAS de 2019-2020
- 4.- Cuarto y último episodio iniciado en el mes de julio de 2021

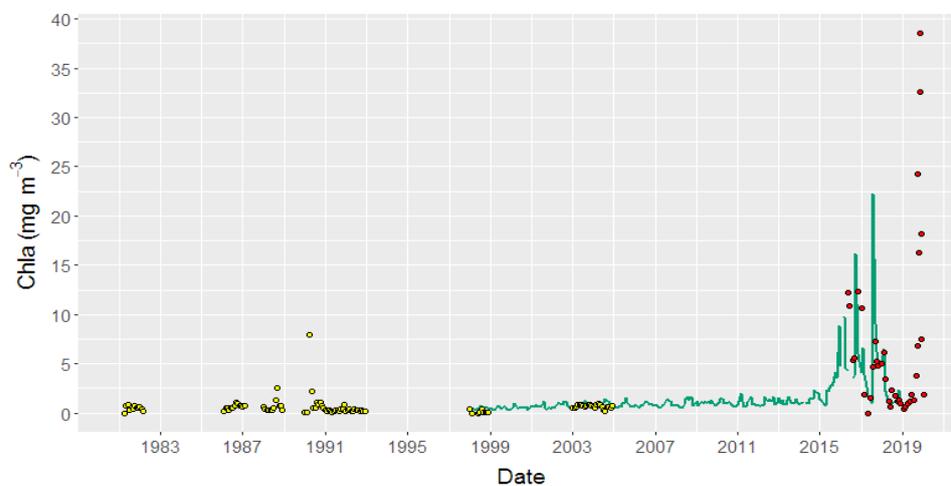


Figura 4. Evolución decenal de la chl *a*. La línea verde continua son valores obtenidos a partir de imágenes de satélite; los puntos amarillos son datos de chl *a* de diferentes programas y proyectos del IEO; los puntos rojos son datos de obtenidos en el muestreo mensual del proyecto DMMEM del IEO. **Fuente:** datos propios del programa DMMEM desarrollado y financiado por el IEO-CSIC.

De acuerdo con el conocimiento científico acumulado hasta la fecha, los mecanismos por los que se han producido estos episodios son diferentes. Unos se producen estrechamente asociados a eventos de precipitaciones intensas, con estratificación de la columna de agua (2019) o sin ella (2017), pero otros se producen sin estar precedidos por un evento de precipitaciones (2016 y 2021). Esto indica, que el mecanismo por el que se desencadenan los

desarrollos fitoplanctónicos es complejo y depende de un amplio conjunto de variables ambientales. tanto oceanográficas como climáticas.

Las concentraciones máximas de chl *a* de estos episodios son similares y alcanzan valores medios que son hasta 2 órdenes de magnitud superior a la media general registrada en décadas anteriores (**Figuras 3 y 4**), aunque en el de 2019 se alcanzaron niveles mucho mayores, probablemente por la entrada de enormes cantidades de sedimentos terrestres arrastrados por las lluvias a la laguna, la mayoría procedentes de terrenos agrícolas enriquecidos en nitrógeno y fósforo.

Los muestreos realizados tras el último de estos episodios, en verano de 2021, muestran cómo los valores de clorofila disminuyeron progresivamente hasta valores medios mínimos de 1,29 mg/m³ en enero de 2022. Los meses siguientes esta variable ya muestra una leve tendencia al aumento, pero a principios de abril (día 7) los valores medios en la laguna han experimentado un brusco incremento hasta 3,61 mg/m³. Los valores medios máximos (superiores a 5 mg/m³) se han registrado en la parte central de la laguna, lo cual es consistente con el patrón espacial ya descrito en informes de eventos anteriores para este tipo de episodios. **Estos valores de clorofila (a), aunque significativamente elevados, son todavía muy inferiores a los registrados en episodios de bloom fitoplanctónico, pero su tendencia al aumento es probable que continúe en las próximas semanas/meses de acuerdo con el incremento de la luz y la temperatura propio de esta época del año (primavera).** Sin embargo, las temperaturas anormalmente bajas del agua registradas a principios de abril podrían estar retrasando esta respuesta de la comunidad fitoplanctónica.



Figura 5. Formaciones masivas de macroalgas filamentosas (conocidas popularmente como “ovas”) observadas durante las primeras semanas de abril en el Mar Menor.

Desarrollos masivos de macroalgas oportunistas

Como se ha documentado en informes anteriores (p.e. Ruiz et al 2020), desde finales de invierno (febrero-marzo) se viene observando grandes acumulaciones de biomasa algal en algunas zonas de los fondos de la laguna (**Figura 5**). Son especies oportunistas de macroalgas bentónicas que inician su desarrollo formando capas pegadas al fondo, pero a medida que aumentan su biomasa

se van desprendiendo del fondo por la acumulación de burbujas de oxígeno producido por su propia actividad fotosintética.

Como se observó en 2020, el desarrollo de estas masas de algas se inicia en momentos tempranos del año (febrero) y puede prolongarse hasta principios de verano (junio). Su composición es variable, pudiendo contener mayoritariamente algas verdes laminares y filamentosas de los géneros *Ulva*, *Ulotrix*, *Cladophora* o *Chaetomorpha*, pero también otras especies de algas rojas abundantes en la laguna. Su aparición y desarrollo se relaciona con aportes masivos de agua dulce procedente del freático con concentraciones muy elevadas de nutrientes, que se producen tras episodios de fuertes precipitaciones. Estos aportes vienen siendo particularmente importantes y continuos desde 2020, coincidiendo con un periodo de años particularmente húmedos. **Los nutrientes contenidos en la escorrentía superficial causada por las intensas lluvias, junto con los contenidos en estos aportes de aguas subterráneas, forman un cóctel perfecto con el aumento de la temperatura y de la radiación solar característicos del periodo invierno-verano que promueve el crecimiento rápido de este tipo de especies oportunistas, tanto de las comunidades de macroalgas bentónicas como de las fitoplanctónicas, y son el exponente más claro del proceso de eutrofización que experimenta la laguna desde hace décadas.**

SÍNTESIS

En el mes de marzo de 2022 ha tenido lugar un episodio de anomalías climáticas particularmente intenso que podría tener efectos significativos en el ecosistema lagunar en los meses estivales del presente año. Según AEMET este mes de marzo ha sido el más húmedo de los últimos 62 años, y ha coincidido con dos episodios de calima de especial intensidad. Estos eventos climáticos aportan cantidades masivas de nutrientes, tanto nitrógeno como fósforo, con gran potencial de desencadenar episodios de crecimiento explosivo de productores primarios, susceptibles de originar eventos de déficit de oxígeno en el ecosistema lagunar con conocidos efectos tóxicos sobre los organismos marinos que habitan el Mar Menor.

Las intensas precipitaciones del mes de marzo de 2022 han provocado una brusca caída de la salinidad hasta valores medios en torno a 39. Tras las lluvias, y a consecuencia de la elevación del nivel freático, continúan los aportes de agua dulce a la laguna con altos contenidos en nutrientes (principalmente nitratos), lo que interferirá la dinámica estacional de la salinidad, que en la época estival tiene tendencia de aumento.

A pesar de estos episodios de lluvias intensas y prolongadas, ni la salinidad, ni la temperatura, mostraron diferencias importantes entre las capas más superficiales de la columna de agua y las más profundas y pegadas al fondo, lo que descarta la existencia de estructuras de estratificación hidrográfica como las descritas en algún episodio anterior de lluvias torrenciales (p.e. 2019), susceptibles de causar déficits severos de oxígeno en las zonas más profundas. De hecho, no se ha producido una desviación del patrón de variación estacional de oxígeno, ni siquiera en las capas de agua profunda del Mar Menor. Los valores medios de potencial redox son normales,

dentro de los rangos registrados en muestreos anteriores en situaciones de aguas bien oxigenadas y sin acumulaciones de compuestos reducidos de carbono, nitrógeno o azufre, producto de los procesos de descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Este nuevo episodio de aguas turbias responde fundamentalmente a los aportes de materiales arrastrados por la escorrentía superficial durante los episodios de lluvias torrenciales registrados a lo largo de estos últimos meses, pero podría mantenerse en las próximas semanas (e incluso meses) por el desarrollo masivo de las comunidades microbiológicas y fitoplanctónicas. De hecho, el último dato disponible para este informe muestra un brusco incremento de la clorofila (a) que, aunque todavía son inferiores a los registrados en episodios anteriores de desarrollo explosivo de fitoplancton, su tendencia al aumento es probable que continúe en las próximas semanas/meses de acuerdo con el incremento de la luz y la temperatura propio de esta época del año (primavera).

Los nutrientes contenidos en la escorrentía superficial causada por las intensas lluvias, junto con los contenidos en estos aportes de aguas subterráneas, forman un cóctel perfecto con el aumento de la temperatura y de la radiación solar característicos del periodo invierno-verano que promueve el crecimiento rápido de este tipo de especies oportunistas, tanto de las comunidades de macroalgas bentónicas como de las fitoplanctónicas, y son, por definición, el exponente más claro del proceso de eutrofización que experimenta la laguna desde hace décadas. Debido a estos desarrollos algales, el riesgo potencial de ocurrencia de un nuevo episodio de agotamiento de oxígeno y mortalidad masiva de organismos en el Mar Menor es muy elevado, lo que obliga a intensificar los esfuerzos de monitorización de la laguna, con el foco especialmente puesto en las zonas central y sur de la laguna, donde parece que se originan preferentemente este tipo de episodios.

Citar este documento como Ruiz, J.M., Clemente-Navarro, P., García Muñoz R. (2021). Informe de progreso (Abril 2022) del Programa de Seguimiento del Estado Ecológico del Mar Menor. Centro Oceanográfico de Murcia, IEO-CSIC, 13 pp.

Referencias bibliográficas

AEMET. Marzo 2022 en la Región de Murcia. *Avance Climatológico Mensual*. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=1

Fraile-Nuez, E., Machín, F., Santana-Casiano, J. M., González-Dávila, M., Domínguez-Yanes, J. F., Mercado, J., Cortes, M.D., Gómez-Ballesteros, M., Santos-Echeandía, J., García-Muñoz, R., Ramos-Segura, A., Bernardeau-Esteller, J., Belando-Torrentes, M.D., Garrido-Faustino, S., Conde-Caño, R.M., Ruíz-Fernández, J. M., 2018. Estudio Oceanográfico Integral de Alta Resolución de la Laguna Costera de El Mar Menor, Murcia Informe Final (noviembre 2016 - septiembre 2017).



Mercado, J.M., Cortés, D., Gómez-Jakobsen, F., García-Gómez, C., Ouissa, S., Yebra, L., Ferrera, I., Valcárcel-Pérez, N., López, M., García-Muñoz, R., Ramos, A., Bernardeau, J, Belando, M.D., Fraile, E., Ruíz, J.M. 2021. Role of small-sized phytoplankton in triggering an ecosystem disruptive algal bloom in a Mediterranean hypersaline coastal lagoon. *Pollution Bulletin* 164, 111989.

Ruiz JM, Albentosa M y 20 autores más. 2020. Informe de evolución y estado actual del Mar Menor en relación con el proceso de eutrofización y sus causas. Informe de asesoramiento científico-técnico del Instituto Español de Oceanografía IEO, 165 pp.

Ruiz, J.M.; Clemente-Navarro, P.; Mercado, J.M; Fraile-Nuez, E.; Albentosa, M.; Marín-Guirao, L.; Santos, J. (2021). Nuevo evento de mortalidad masiva de organismos marinos en el Mar Menor: contexto y factores. Informe de asesoramiento técnico del Instituto Español de Oceanografía (IEO). 23pp.